

# 一种无人机非标定视觉自定位新算法

付强<sup>1</sup>, 孙秀霞<sup>1</sup>, 刘树光<sup>1</sup>, 徐嵩<sup>2</sup>, 彭轲<sup>1</sup>

(1.空军工程大学航空航天工程学院,西安,710038;2.95910部队,甘肃酒泉,735018)

**摘要** 针对高动态环境下如何利用视觉导航快速解决GPS失效故障的问题,基于射影几何的基本性质,在预知失效时刻无人机坐标的情况下,提出了一种无人机非标定视觉自定位的新算法。首先对目标进行定位,假定摄像机内参数在拍摄过程中不发生变化,重点分析视觉系统在对目标一次识别的情况下快速定位,并在此基础上对无人机进行反定位。仿真验证表明:该算法能有效进行自定位,新位置的自定位坐标与实际坐标差异小,最大差值为0.01 m,该算法无需知道摄像机的参数,避开了由于摄像机标定不准确带来的定位误差问题,提供了一种简单、实时、精度高的自定位新思路。

**关键词** 视觉自定位;射影几何;非标定摄像机;交比定理

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.04.002

**中图分类号** TP273 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)04-0005-04

## Research on An Accurate UAV Self-localization Method Based on Non-calibrated Vision Navigation

FU Qiang<sup>1</sup>, SUN Xiuxia<sup>1</sup>, LIU Shuguang<sup>1</sup>, XU Song<sup>2</sup>, PENG Ke<sup>1</sup>

(1 Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2 Unit of 95910, Jiuquan 735018, Gansu, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of "miss" in the traditional GPS navigation system, a new algorithm for self-localization is presented by taking the visual navigation as a novel navigation manner without compute camera calibration and any remote sensory information, and the position can be well estimated on the property of projective geometry and relation of geometry. Firstly, the target in the plane is located with the target's position to realize the vision self-localization. The conclusion demonstrates the effectiveness of the model. The experiments show that the method can effectively eliminate the position, and the maximal different value is 0.01 m. A novel thought-way with simplicity, real time and high precision is provided for vision self-localization of UAV is provided.

**Key words:** vision self-localization; projective geometry; non-calibrated camera; cross ratio theorem

收稿日期:2015-01-08

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2014M562629);陕西省自然科学基金资助项目(2014JM8332);国家级大学生创新训练资助项目(201490052001)

作者简介:付强(1990-),男,四川内江人,硕士生,主要从事无人机视觉导航与图像处理研究.E-mail:fuqiang931@126.com

**引用格式:**付强,孙秀霞,刘树光,等.一种无人机非标定视觉自定位新算法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(4):5-8. FU Qiang, SUN Xiuxia, LIU Shuguang, et al. Research on An Accurate UAV Self-localization Method Based on Non-calibrated Vision Navigation[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(4): 5-8.

精确的无人机自定位是无人机导航和遂行任务的基础,是自主完成路径规划、避障等任务的必然要求。传统上无人机在飞行过程中主要依靠 GPS 作为基本导航方式,但是当 GPS 信号“失锁”或被干扰时,系统性能将会急剧下降,极易造成飞机失事。使用视觉导航系统进行自定位,将会进一步减少无人机对外部导航系统的依赖,提高其真正的自主性。但在高动态环境下,需要视觉信息在 GPS 失效后迅速进行导航,对实时性的要求极高,如何保证视觉导航在 GPS 失效后迅速工作值得研究。

目前,国内外许多学者对无人机自标问题有一定的研究,如参考地面点做 PNP 问题求解、进行图像配准定位、运用多传感器的融合定位、摄像机标定后的定位等<sup>[1-7]</sup>。这些方法相对较复杂,不具备在高动态环境下处理的快速性和简单性。本文在文献[8~9]研究摄像机非标定视觉定位的基础上,提供了一种新的自定位思路。

## 1 问题的描述

### 1.1 导航传感器模型

无人机导航的总体方案见图 1。图中, GPS 属于绝对定位系统,为无人机提供具体实时的位置信息  $O$ ,这一初始位置信息也是 GPS 失效后无人机视觉导航系统唯一可以利用的先验信息,用来克服在未知环境中对目标区域不清楚标杆物的情形。

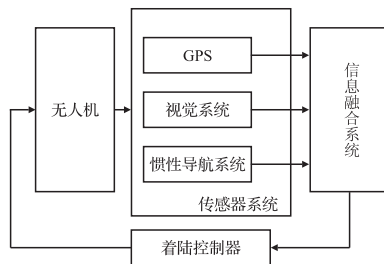


图 1 无人机导航方案总体框图

Fig.1 The block of UAV navigation

### 1.2 视觉自定位

视觉导航的可靠性体现在它既没有 GPS 的突然失效可能,也克服了惯性导航存在的累积误差,利用视觉信息进行无人机自定位是 GPS 失效后快速进行导航的一种可选方案。本文假设无人机对环境一无所知,不存在已知标杆物,对目标进行拍摄,运用射影几何中的交比不变性、同素性和接合性,完成无人机的自定位。

### 1.3 设计思想

本文拟解决无人机在高动态环境下的自定位问题,系统最主要与最重要的任务是目标定位与自定

位,所以整个算法分为以下 2 个过程:①无人机在位置  $O$  对目标  $P$  进行定位;②无人机新位置  $O_1$  的定位。包括求取  $O_1$  在平面  $\alpha$  的投影  $O_{\perp}$  的世界坐标以及其高度  $h$ 。

该算法的具体场景信息见图 2。

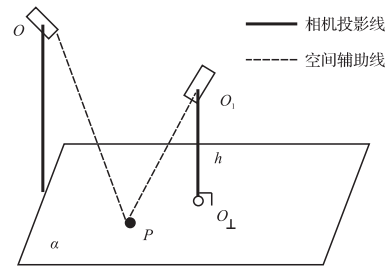


图 2 无人机自定位场景

Fig.2 Scene of UAV self-localization

一方面,根据传统的单目标定位方法,利用 GPS 失效时刻位置信息定位平面内目标  $P$ ;另一方面,通过无人机对同一区域目标进行拍摄,利用定位出的目标信息进一步定位出下一时刻的摄像机信息,实现无人机的视觉自定位。

此算法不仅不需要对摄像机进行标定,而且当无人机在不同时刻对地面目标拍摄时,不需要对图像进行配准和重叠区域的探测,只需要各自获取目标的准确位置。进行自定位时也不需要图像以外的知识,满足无人机的自主性要求。

## 2 目标定位

为了便于分析和计算,先假定目标处于平面内。利用射影几何中的性质将平面上点的定位问题转化为直线交点定位问题的方法实现<sup>[8-9]</sup>。

实时测量并求出图像平面  $\alpha'$  中  $F'_1, F'_2, F'_3$  点和  $A'_1, A'_2$  点的图像坐标。选取世界坐标系中的  $F_i(x_{F_i}, y_{F_i}), N_i(x_{N_i}, y_{N_i}), (i=1, 2, 3)$  为平面  $\alpha$  内的参考点,参考点的选取根据图像清晰程度进行取舍。由于图像平面上任意一点唯一对应于真实平面的某点,根据射影变换中的交比不变性<sup>[10]</sup>,通过式(1)可求得  $A_1$  点的世界坐标:

$$\frac{A'_1 F'_2 F'_1 F'_3}{A'_1 F'_3 F'_1 F'_2} = \frac{A_1 F_2 F_1 F_3}{A_1 F_3 F_1 F_2} \quad (1)$$

同理,通过式(2)求得  $A_2$  点:

$$\frac{A'_2 F'_2 F'_1 F'_3}{A'_2 F'_3 F'_1 F'_2} = \frac{A_2 F_2 F_1 F_3}{A_2 F_3 F_1 F_2} \quad (2)$$

从世界坐标系中可以看出,  $P$  点正是  $N_1 A_2$  和  $N_3 A_1$  的交点:

$$(x_P, y_P) = F_{\text{cross}}(N_1, A_2, N_3, A_1) \quad (3)$$

式中:  $(x_P, y_P)$  为平面  $\alpha$  内目标  $P$  的世界坐标。

目标定位时射影变换过程中世界坐标系与图像坐标系的对应坐标点以及图像平面  $\alpha'$  到真实平面  $\alpha$  的映射关系见图 3。

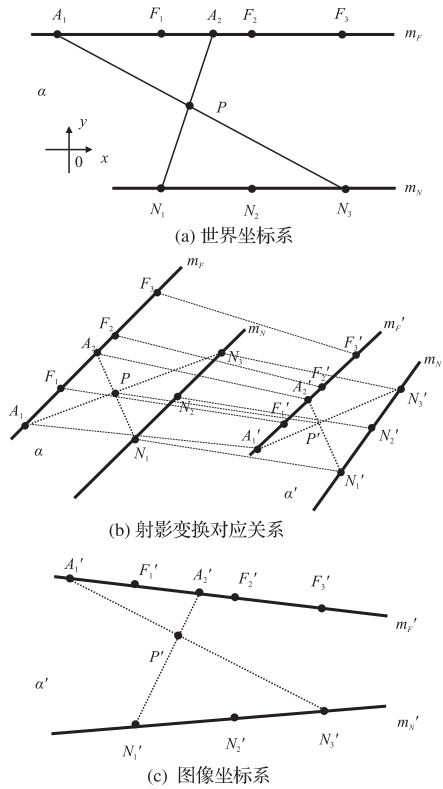


图 3 平面内定位示意图

Fig.3 Schematic diagram of location in a plane

### 3 无人机自定位

无人机自定位是无人机完成各项任务的前提,结合目标点坐标进行反定位,可以求得无人机新位置信息。如果在飞行过程中每一时刻都能确定其与前一时刻的位置和姿态变化,那么也就自然实现了无人机的定位。本文算法中,2 个时刻无人机进行摄像过程中的参考点不需要选取一致,可以根据各自实际场景布局定位参考点,克服了图像匹配技术复杂且处理速度慢的问题,成功进行了解耦。

#### 3.1 飞行高度不变时的自定位算法

当无人机做平飞运动时,飞行高度保持不变,只需一个目标点信息即可完成自定位,见图 4。

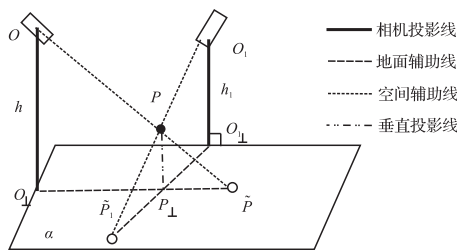


图 4 一个目标自定位示意图

Fig.4 Self-localization with one target

无人机处于  $O$  点时,高度  $h$  和坐标  $(x_{O\perp}, y_{O\perp})$  已知,可以求得坐标  $(\tilde{x}_P, \tilde{y}_P)$ ,目标  $P$  高度已知。根据相似关系,  $P$  点投影的坐标为:

$$\frac{\tilde{P}P_{\perp}}{\tilde{P}O_{\perp}} = \frac{PP_{\perp}}{h} \quad (4)$$

式中:  $\tilde{P}P_{\perp} = \sqrt{(\tilde{x}_P - x_{P_{\perp}})^2 + (\tilde{y}_P - y_{P_{\perp}})^2}$ 。

点  $P_{\perp}$  还需满足  $O_{\perp}, P_{\perp}, \tilde{P}$  3 点共线约束方程,所以只存在唯一解,从而求得垂直投影点  $P_{\perp}$  坐标  $(x_{P_{\perp}}, y_{P_{\perp}})$ 。

同理,当无人机运动到  $O_1$  位置时,通过求点在平面坐标可求得  $(x_{P_1}, y_{P_1})$ 。由于飞行高度不变,无人机的新位置坐标就可在  $\tilde{P}_1P$  的延长线上获得。

#### 3.2 飞行高度改变时的自定位算法

当无人机飞行高度改变时,需要 2 个目标点实现自定位,见图 5。

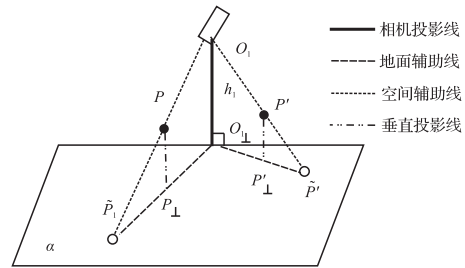


图 5 2 个目标自定位示意图

Fig.5 Self-localization with two targets

此时用同样的方法对第 2 个高度目标  $P'$  进行定位,得到  $(\tilde{x}_{P_1'}, \tilde{y}_{P_1'})$ 。两直线的交点即无人机新位置的平面坐标。最后利用三角形相似得到无人机新位置的飞行高度,完成无人机的自定位。

$$(x_{O_1}, y_{O_1}) = F_{\text{cross}}(P, \tilde{P}_1, P', \tilde{P}_1') \quad (5)$$

### 4 实验验证

在与文献[9]相同的实验室环境下,通过摄像机拍摄目标对本文算法进行仿真验证,实验 1 为飞行高度不变时的自定位,实验 2 为飞行高度未知时的自定位。2 个目标的高度均为 13.2 cm,其它实验数据见表 1。

表 1 无人机自定位参数

Tab.1 Self-localization parameter of UAV

参考点	世界坐标/m	图像坐标/pixel
$O$	(0,0.80,0)	(49.50,92.50)
$F_1$	(0,1.60,0)	(62.25,46.75)
$F_2$	(1.20,1.60,0)	(165.25,58.25)
$F_3$	(2.40,1.60,0)	(262.75,71.25)
$N_1$	(0,0,0)	(36.75,138.25)
$N_2$	(1.20,0,0)	(167.25,152.50)
$N_3$	(2.40,0,0)	(290.50,164.25)

定位结果见表 2。

表2 无人机自定位结果

Tab.2 Self-localization results of UAV (m)

实验	新位置	新位置	误差
	自定位坐标	实际坐标	
1	(1.50,1.00,1.50)	(1.50, 1.01,1.50)	(0,0.01,0)
2	(1.50,1.50,2.00)	(1.50, 1.50,2.01)	(0,0,0.01)

从仿真结果可以看出,本文方法进行自定位时具有良好的精度,定位误差在 0.01 m 以内,满足一般的自定位要求。

文献[6]指出,变焦摄像机主动工作时间内参数变化的可能性很大,需要不断对其进行标定,而本文基于射影几何的基本性质,在预知 GPS 失效时刻无人机坐标的情况下,提出了一种无人机非标定视觉自定位的新算法。本文算法节约了计算时间,满足高动态环境下的实时性要求,同时避开了由于摄像机标定不准确带来的定位误差问题。

## 5 结语

本文以较低的运算量从视觉信息中分离出目标点,通过建立无人机坐标系与图像坐标系的坐标映射关系,在非标定摄像机情况下实现了无人机的快速自定位。该算法首先利用射影定理的性质对目标点进行定位,在提高可靠性的同时定位精度高、实时性好,然后通过定位出的目标对无人机运动后的新位置进行反定位,通过实验验证了有效性。本文是基于理想情况初步研究给出的解决方案,现实中由于获取的图像存在噪声和成像模糊等问题,影响着算法的精度,今后将针对此进一步进行研究。

### 参考文献(References):

[1] Yunpeng Li, Noah Snavely, Dan Huttenlocher, et al. Worldwide Pose Estimation Using 3D Point Clouds [J]. ECCV, 2012(1):15-29.

[2] Zhou Haoyin, Zhang Tao. A Vision-Based Navigation Approach with Multipleradial Shape Marks for Indoor Aircraft Locating[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2014, 27(1): 76-84.

[3] Meng An, Zhiguo Jiang, Danpei Zhao. High Speed Robust Image Registration and Localization Using Optimized Algorithm and Its Performances Evaluation[J]. Journal of Systems Engineering and Elec-

tronics, 2010, 21(3), 520-526.

[4] 寇昆湖,张友安,柳爱利. 视觉辅助飞航导弹 INS 定位误差快速修正方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(2):397-401.

KOU Kunhu, ZHANG Youan, LI Aili, Vision-Aided INS Fast Localization Error Modification Method for Cruise Missiles [J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(2):397-401. (in Chinese)

[5] 毛臣健. 基于多传感器信息融合的机器人自定位方法[J]. 科技通报, 2012, 28(12):146-148.

MAO Chenjian, The Robot Self-Localization Method Based on Multi-Sensors Information Fusion [J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28(12):146-148. (in Chinese)

[6] 蔡鸣,孙秀霞,刘树光,等. 基于消隐点无穷单应的摄像机焦距精确自标定方法[J]. 光学学报, 2014, 34(5):0515003-1-6.

CAI Ming, SUN Xiuxia, LIU Shuguang, et al. An Accurate and Real-Time Focal-Length Self-Calibration Method Based on Infinite Homography between Vanish Points [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(5): 0515003-1-6. (in Chinese)

[7] 卢朝梁,马丽华,陈豪. 改进的 SIFT 特征匹配算法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2014, 15(1):72-76.

LU Chaoliang, MA Lihua, CHEN Hao. An Improved Algorithm for SIFT Feature Matching [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2014, 15(1):72-76. (in Chinese)

[8] 方帅,曹洋,徐心和. 一种非标定摄像机的定位新算法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8):845-848.

FANG Shuai, CAO Yang, XU Xinhe. A New Localization Algorithm for Uncalibrated Camera [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8):845-848. (in Chinese)

[9] 徐嵩,何衍,孙秀霞,等. 一种不同高度目标的视觉定位新算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(3):546-552.

XU Song, HE Yan, SUN Xiuxia, et al. New Visual Localization Algorithm for Targets with Different Heights [J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2010, 31(3):546-552. (in Chinese)

[10] J G Semple, G T Kneebone, Algebraic Projective Geometry [M]. New York: World Book Inc, 2013.

(编辑:徐敏)